



18 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Gebrauchsmusterschrift**  
10 **DE 94 22 389 U 1**

61 Int. Cl. 7:  
**B 23 B 29/034**  
B 23 B 41/00  
B 23 B 3/26  
B 23 Q 15/007

21 Aktenzeichen: G 94 22 389.0  
67 Anmeldetag: 20. 1. 1994  
aus Patentanmeldung: P 44 01 496.1  
47 Eintragungstag: 28. 6. 2001  
43 Bekanntmachung  
im Patentblatt: 2. 8. 2001

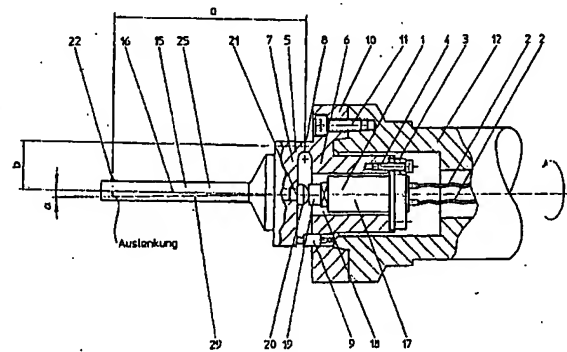
DE 94 22 389 U 1

73 Inhaber:  
EMAG Maschinenfabrik GmbH, 73084 Salach, DE

74 Vertreter:  
Beyer, R., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 40883 Ratingen

54 Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung zum hochgenauen Bearbeiten von runden, unrunder und/oder nicht zylinderförmigen Innen- und/oder Außenkonturen

57 Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung zum hochgenauen Bearbeiten von runden, unrunder und/oder nicht zylinderförmigen Innen- und/oder Außenkonturen, wobei entweder das Werkzeug (25) gegenüber dem Werkstück (24) als Hauptbewegung eine Drehbewegung oder das Werkstück (24) gegenüber dem Werkzeug (25) als Hauptbewegung eine Drehbewegung ausführt, mit einer frei programmierbaren Regelung aller zur Bearbeitung des Werkstücks (24) erforderlichen Bewegungsvorgänge der Werkzeugschneide (22) des Werkzeugs (25), wobei ein als federndes Rückstellelement ausgebildetes Festkörpergelenk (5) von etwa U-förmiger Grundgestalt mit zwei Schenkeln (6, 7) ausgebildet ist, die durch einen Steg (8) materialmäßig einstückig miteinander verbunden sind, derart, daß der eine Schenkel (6) einen Flansch (10) aufweist, mit dem das Festkörpergelenk (5) fest, aber lösbar an einer Werkzeugspindel (12) oder fest, aber lösbar mit einem Werkzeugträger (23) und der andere, federelastisch bewegliche Schenkel (7) mit einer Bohrstange (15) lösbar oder einem Drehwerkzeug (25) verbunden ist, und daß im Bereich des die U-Schenkel verbindenden Steges (8) ein Weg-Meßglied (9), zum Beispiel ein Wegeaufnehmer oder dergleichen angeordnet ist, wobei mit dem einen, mit der Werkzeugspindel (12) oder dem Werkzeugträger (23) fest verbundenen U-Schenkel (6) des Festkörpergelenks (5) ein Piezo-Translator gekuppelt ist, der sich über einen Druckaufnahmekörper (19) biege- bzw. drehmomentfrei gegen den federelastisch verformbaren U-Schenkel (7) abstützt, wodurch nur Druckkräfte auf das U-Gelenk ausübbar sind, die es innerhalb des elastischen Bereiches des Gelenkwerkstoffes verformen, derart, daß bei Wegnahme oder Reduzierung der Druckspannung das Gelenk automatisch wieder in seine Ausgangslage zurückfedert, wobei zwecks Vermeidung undefinierbarer Verformungszustände mit einer entsprechenden Vorspannung gearbeitet wird, so daß das System spielfrei ist, wobei der von der Mitte des die U-Schenkel verbindenden Steges (8) bis zur Werkzeugschneide (22) parallel zur Längsmittelnachse (16) gemessene Hebelarm (a) um ein Vielfaches größer ist, als der von der Mitte des Steges (8) rechtwinklig bis zur Längsmittelnachse (16) des Piezos (1) gemessene Hebelarm (b).



DE 94 22 389 U 1

24.01.01

---

**Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung zum hochgenauen  
Bearbeiten von runden, unrunder und/oder nicht zylinderförmigen  
Innen- und/oder Außenkonturen**

---

**Beschreibung**

**Gattung**

Die Erfindung betrifft eine Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung zum hochgenauen Bearbeiten von runden, unrunder und/oder nicht zylinderförmigen Innen- und/oder Außenkonturen.

**Stand der Technik**

**Innenbearbeitung mit drehendem Werkzeug**

1. Für die Bearbeitung von hochgenauen Bohrungen muß eine Schneiden-Abhebeeinrichtung eingesetzt werden; da ansonsten beim Herausfahren der Schneide aus der Bohrung Riefen in die bearbeitete Oberfläche gekratzt werden.

DE 94 22 389 U1

Üblicherweise wird dazu eine hydraulisch/pneumatisch verstellbare Einrichtung, z. B. der Firma SAMSOMATIC, verwendet. Mit dieser Einrichtung können zylindrische Bohrungen unterschiedlicher Durchmesser hergestellt werden (Prospekt der Firma Samsomatic „Werkzeugkorrektursystem - Stellelement für die Feinbohrbearbeitung“, Ausgabe Juli 1982, T 904).

Ebenfalls zylindrische Bohrungen verschiedener Durchmesser können mit dem "Präzisionsbearbeitungssystem AUTOCOMP" der Firma SANDVIC gefertigt werden (Z.: Drehteil + Drehmaschine 5/92 - „Kontrolliertes Feindreihen und Feinbohren für gleichbleibende Produktqualität", Seite 42 - 44).

2. Unrunde Bohrungen werden von einer Firma mit einer selbst entwickelten Verstelleinrichtung auch schon gefertigt.

Die Geometrie der Bohrung, z. B. eine Ellipse oder ein Polygon wird mit einer Mechanik auf die Werkzeugschneide(n) übertragen. Die zu erzeugende Bohrungsgeometrie ist entsprechend vergrößert als Wellenlinie (Berg und Tal) in eine Planscheibe eingearbeitet. Die Planscheibe ist auf der dem Werkzeug entgegengesetzten Seite der Hauptspindel koaxial drehfest angeordnet. Über mit der Hauptspindel verbundenen (mitdrehenden) Kulissensteinen wird die Planscheibe

abgetastet und die Auslenkung mechanisch (Gelenk) auf die Werkzeugschneide übertragen.

Die Bohrstange wird bei dieser Verstelleinrichtung auf deren freiem Ende, z. B. mit einer Zentrierspitze auf einem Reitstock, abgestützt.

Bei höheren Drehzahlen ist wegen der auftretenden Trägheitsmassenkräfte der Prozeß nicht mehr beherrschbar.

Es ist auch eine NC-Formdreheinrichtung vorbekannt, mit der ebenfalls unrunde Bohrungen hergestellt werden können. Die Werkzeugspindel ist in einer eigengelagerten Exzenter-spindel drehbar gelagert. Die Bohrungsgeometrie wird durch geeignete Drehzahlkombinationen beider Spindeln und der daraus resultierenden Parallelverschiebung der Werkzeugspindelachse aus der theoretischen Mitte erzeugt (Z.: dima 3/92 - „Fertigungstechnisches Kolloquium weist neue Wege“, S. 54).

3. Nicht zylindrische Bohrungen werden im Regelfall über ein Lineal kopiert.

Weiterhin kann die Schneide hydraulisch/pneumatisch (z. B. Firma SAMSOMATIC) oder elektromechanisch (z. B. Firma SANDVIC) während der Bearbeitung verstellt werden.

### Außenbearbeitung mit stehendem Werkzeug

Das übliche Verfahren für das Außendrehen unrunder Geometrien war über lange Zeit das Kopieren von einer mit dem Werkstück synchron drehenden Meisterwelle. Dabei wird über Kulissensteine mechanisch die Schneide ausgelenkt.

Mehrere Firmen stellen spezielle Außendrehmaschinen mit einer elektrohydraulischen Verstelleinrichtung des Werkzeugs her. Konkret wird damit ein Schlitten in Abhängigkeit der Winkelstellung des Werkstücks senkrecht zur Drehachse verfahren, auf dem das Werkzeug fest montiert ist.

Neueste Entwicklungen sind die

- a) Werkzeugverstellung über einen mit einem Linearmotor angetriebenen Schlitten, und die
- b) Werkzeugverstellung mittels PIEZO-Translator

zu a) Ein Unternehmen hat dazu eine solche Schneidenverstelleinrichtung entwickelt. Wesentliche Verbesserungen gegenüber den vorgenannten Einrichtungen sind die deutlich höhere Spindeldrehzahl sowie die Oszillationsfrequenz (Z.:

dima 3/92 - „Trends bei Direktantrieben für Werkzeugmaschinen und Industrieroboter“, S. 56 bis 59).

- zu b) Ein weiteres Unternehmen hat in seiner Hauszeitschrift ein Werkzeugschneiden-Feinverstellsystem mittels PIEZO-Translator vorgestellt. Die Verstelleinrichtung ist dabei in einen Standard-Werkzeughalter integriert (Z.: Position + Bewegung - Ausgabe 14, September 1992, S. 1 und 2).

Dieses System ermöglicht zwar eine hohe Einstellgenauigkeit, jedoch ist durch die genannte geringe Grenzfrequenz die Bearbeitung unrunder Außengeometrien nur eingeschränkt möglich. Das System eignet sich besser für nicht zylinderförmige Außengeometrien.

Aus der DE 32 45 053 A1 ist eine Werkzeugmaschine vorbekannt, bei der ein Werkstück und ein Werkzeug relativ zueinander rotieren, um eine Bearbeitung am Werkstück durchzuführen, von der Art, die einen an einem Ende eingespannten länglichen Werkzeughalter mit einem am anderen Ende befestigten Werkzeug enthält, wobei Einrichtungen zur Ablenkung des Werkzeughalters zwischen dem eingespannten Ende und der Werkzeughalterung auf den Werkzeughalter einwirken, um so den Werkzeughalter während der Bearbeitung zur Variation der Lage des Werkzeugs relativ zum eingespannten Ende um einen bestimmten Betrag abzulenken. Der Werkzeughalter wird aus zwei Seite an

Seite miteinander verbundenen länglichen Gliedern aus verschiedenen Werkstoffen gebildet, wobei die Einrichtungen zur Ablenkung des Halters Einrichtungen zur Erzeugung eines Magnetfeldes um den Werkzeughalter enthalten und die Werkstoffe dieser Glieder so sind, daß die durch das Magnetfeld verursachte magnetostriktive Längenänderung der Glieder die genannte Ablenkung des Werkzeughalters erzeugt. Die Magnetfeldeinrichtungen enthalten eine Spule, die zwischen dem eingespannten Ende und der Werkzeughalterung um den Werkzeughalter angeordnet ist. Es ist außerdem ein Kühlsystem vorgesehen, um die Temperatur des Werkzeughalters während der Bearbeitung im wesentlichen konstant zu halten. Des weiteren weist diese Werkzeugmaschine eine Dämpfungsanordnung zur Unterdrückung unerwünschter Ablenkungen des Werkzeughalters auf. Während der Bearbeitung rotiert der Werkzeughalter um seine ganze Länge, während das Werkstück feststeht. Es ist allerdings auch offenbart, daß der Werkzeughalter nicht rotiert und das Werkstück während der Bearbeitung rotiert. Der Werkzeughalter wird somit gewissermaßen durch das Magnetfeld „verbogen“ und somit direkt ausgelenkt.

Aus der DE-OS 20 56 071 ist eine hydraulische Nachstellvorrichtung für Werkzeuge vorbekannt, die dadurch gekennzeichnet ist, daß ein Nachstellelement vorgesehen ist, dessen eines Ende auf einer über einen Hydraulikzylinder verstellbaren Schrägfläche gleitet. Das Nachstellelement ist als Stößel ausgebildet und in einer zur Längsachse des Hydraulikzylinders senkrechten Bohrung geführt und wirkt mit seinem zweiten Ende auf ein bewegliches, das Werkzeug tragende Ende der Werkzeughalterung ein. Der Hydraulikzylinder ist doppelt

wirkend ausgebildet. Die hydraulische Nachstellvorrichtung dient zur schrittweisen Bewegung eines Werkzeuges, und zwar zur Kompensation von Temperaturschwankungen und Werkzeugverschleiß. Temperaturschwankungen und Werkzeugverschleiß sind zwar instationäre, jedoch quasi-statische Vorgänge.

Die EP 0 430 984 B1 zeigt eine sogenannte Feinbohrmaschine mit einem Drehmeißel, der an einer um eine Achse rotierende Bohrstange befestigt ist, der tangential zur Rotationsbewegung an einem Werkstück angreift und radial federnd auslenkbar ist, zur Herstellung von Bohrungen mit polar und/oder axial beliebigen Mantellinienverläufen. Der Drehmeißel ist in einem federnd gelagerten über einen translatorisch antreibenden Stellmotor auslenkbaren Werkzeughalter befestigt. Die Antriebsrichtung des Stellmotors verläuft senkrecht zur Zustellrichtung des Drehmeißels. Die Antriebskraft des Stellmotors wirkt auf das eine Ende einer getrennt von dem Stellmotor gelagerten Schubstange ein. Das zweite Ende der Schubstange greift an dem freien auslenkbaren Ende des Werkzeughalters in einer diesem gegenüber fixierten Lage ein. Die Schubstange ist an ihrem ersten Ende an einer senkrecht zur Antriebsrichtung verlaufenden Membran befestigt. Der Drehmeißel ist an einer lösbar mit der Arbeitsspindel verbundenen Bohrstange und der Stellmotor in der Arbeitsspindel befestigt, wobei die Membran in der Bohrstange gelagert ist. Der federnd auslenkbare Werkzeughalter ist aus dem Material der im wesentlichen runden Bohrstange als eine nur noch in Richtung zur Bohrstangenachse angelenkten nach radial innen abgewinkelten Lasche durch elektroerosiven Materialabtrag getrennt. Außerdem ist vorgesehen, daß der Stellmotor nach einem piezoelek-



trischen Prinzip arbeitet. Die zu erzeugende Form der Bohrung wird als elektronisches Abbild vorgegeben, aus dem der Stellmotor seine Steuerimpulse erhält, wobei die sich aus diesen Steuerimpulsen tatsächlich einzustellenden Auslenkungen des Werkzeughalters direkt oder indirekt gemessen und innerhalb eines Lageregelkreises mit dem aus dem elektrischen Abbild vorgegebenen Soll-Werten verglichen werden, um eine eventuelle Abweichung zwischen diesen Werten durch entsprechende Korrektur der den Stellmotor steuernden Impulse abzubauen. Die Meßeinrichtung ist zur Erfassung der Stellmotor-Stellwege innerhalb der Arbeitsspindel vorgesehen.

Nachteilig bei dieser vorbekannten Bauart ist, daß die relativ große und schwere Bohrstange mit einem Flansch an der ebenfalls mit einem Flansch versehenen Arbeitsspindel befestigt werden muß. Innerhalb dieses Flansches ist eine Membran vorgesehen, die die Schubstange aufweist. Diese Schubstange durchgreift zwei coaxial hintereinander angeordnete Bohrungen unterschiedlichen Durchmessers der Bohrstange und wirkt gegen einen federnden Wandungsabschnitt der Bohrstange ein.

Der Werkzeughalter wird durch zwei radialverlaufende, beabstandete Schlitze gebildet, von denen einer radial auf der Seite des Drehmeißels an der Mantelfläche der Bohrstange ausmündet, während der andere im Abstand auf der anderen Seite des Drehmeißels angeordnete Schlitz im Innern der Bohrstange endet. Jeder der radial gerichteten Schlitze mündet in einen axial verlaufenden Schlitz, von denen der eine Schlitz die nach innen gerichtete Stirnseite des

Werkzeughalters begrenzt und an einem Ende in den nach außen ausmündenden radial Schlitz endet. Der piezoelektrische Stellmotor ist in relativ weitem Abstand von dem federnd angeordneten Längenabschnitt des massiven Teils der Bohrstange im Innern der Werkzeugspindel angeordnet und wirkt über ein Zwischenstück und einen im Innern desselben angeordneten induktiven Wegaufnehmer und über weitere Bauteile auf die der Schubstange gegenüberliegende Seite der Membran ein. Wegen ihrer großen und massiven Ausbildung ist die Bohrstange nicht nur über den Flansch mit der Arbeitsspindel verbunden, sondern auch am entgegengesetzten Ende reitstockgelagert. Die Zustellbewegungen, die mit der beschriebenen Einrichtung bei dem Drehmeißel erzeugt werden können, sollen auf wenige Zehntel Millimeter beschränkt sein. Soweit Bohrungen mit darüber hinausgehenden Durchmesserunterschieden erzeugt werden sollen, müssen Bohrstangen mit unterschiedlichen Durchmessern verwendet werden. Es ist also erforderlich, eine Reihe von Bohrstangen am Lager zu halten, um im Durchmesser unterschiedlich große Bohrungen bearbeiten zu können.

Zusammenfassend ist somit als nachteilig anzusehen, daß bei dieser vorbekannten Bauart die zur Auslenkung des Werkzeuges erforderliche Antriebskraft des piezoelektronischen Stellmotors über eine getrennt vom Stellmotor gelagerte Schubstange auf einen nach dem Prinzip eines Biegebalkens sich auslenkenden Werkzeughalter übertragen werden muß.

Die Bohrstange wird dadurch relativ groß und schwer, was den Erfinder vermutlich dazu bewogen hat, in der Zeichnung des Ausführungsbeispiels eine Reitstockabstützung vorzusehen. Der Einsatz einer getrennten Schubstange ergibt an deren Enden Kontaktflächen, die vom Funktionsprinzip her Spielfreiheit verlangen, im praktischen Einsatz dies aber nur bedingt garantieren.

Beim Dimensionswechsel muß die komplette Bohrstange einschließlich sämtlicher Übertragungsglieder des Verstellmechanismus, bestehend aus Schubstange mit einer als Membran ausgebildeten Lager- und Haltevorrichtung für die Schubstange plus der eigentlichen Verstellung des Werkzeuges in Form eines aus der Bohrstange ausgearbeiteten Werkzeughalters mit einem als Biegebalken ausgebildeten Verbindungssteg, zwischen Werkzeughalter und Bohrstange ausgetauscht werden.

Um eine genügend genaue Reproduzierbarkeit zu sichern, sind deshalb alle erforderlichen Komplett-Wechselbohrstangen sehr präzise zu fertigen und an der Schnittstelle zur Werkzeugspindel und zu dem als Druckstück dienenden Zwischenstück am Stellmotor ebenso präzise anzupassen.

Die Rückstellkräfte für das Werkzeug werden nur von der Materialverformung des Steges zwischen Werkzeughalter und Bohrstange erzeugt.

Bei der Bearbeitung unrunder Werkstück-Bohrungen mit höherer Werkzeugdrehzahl und entsprechend höherer Auslenkfrequenz des Werkzeuges

besteht, trotz einer Vorspannung des Systems, die Gefahr, daß es bedingt durch Massenträgheiten zu Abhebevorgängen zwischen Werkzeughalter und den einzelnen Verstellgliedern kommt.

Die im Interesse kleiner Bohrstangenabmessungen möglichst dünne, aber lange Schubstange kann durch die auftretenden Kräfte zur Instabilität neigen. Eine Abstützung in der Bohrstange nahe des Werkzeughalters ist aber zur Vermeidung von schädlicher Reibung nicht sinnvoll.

Die Auslenkung des Werkzeuges über einen als Biegebalken ausgebildeten Steg zwischen Werkzeughalter und Bohrstange erfolgt in keinem linearen Verhältnis zum Verstellweg des piezoelektronischen Stellmotors.

Unterschiedlich dimensionierte Bohrstangen ergeben zusätzlich noch verschiedene Biegelinien.

Die in einem elektronischen Abbild oder einer Schablone vorgegebene Werkstück-Soll-Form steht also in keinem linearen Zusammenhang zur tatsächlichen Werkstückform und muß vermutlich empirisch ermittelt werden, für jede Soll-Form und jede neueingesetzte Bohrstange.

Der Einsatz in einem modernen, flexiblen und hochproduktiven Fertigungssystem mit einer freiprogrammierbaren Steuerung ausgerüstet, ist nicht oder nur sehr bedingt möglich.

Die Abstützung der Bohrstange in einem Reitstock schränkt den Einsatz weiter ein und führt beim automatischen Werkstückwechsel zu hohen Nebenzeiten.

Der Einsatz zur Außenbearbeitung wurde deshalb vom Erfinder schon gar nicht in Erwägung gezogen.

Ebenso nicht in Erwägung gezogen wurde wohl auch der Einsatz einer schnellen, freiprogrammierbaren Steuerung, wie das Steuerungsschaltbild einer einfachen Analogsteuerung in der Zeichnung des Ausführungsbeispiels zeigt. Die Sollwerte werden laut Beschreibung und zeichnerischer Darstellung getrennt gebildet.

Dies entspricht nicht den Möglichkeiten heutiger Steuerungen.

Bei dieser Druckschrift ist somit lediglich ein piezoelektrischer Verstellmotor vorgesehen, der auf einem um ein Festkörpergelenk auslenkbaren Werkzeughalter als Teil einer Bohrstange einwirkt.

### Aufgabe

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Werkzeugschneiden-Verstellvorrichtung zum hochgenauen spanenden Bearbeiten runder, unrunder und/oder nicht zylindrischer Innen- und/oder Außengeometrien bzw. -konturen

beliebiger Funktion mit drehendem oder stehendem Werkzeug zu schaffen, die frei programmierbar ist und eine absolut spielfreie Werkzeugschneiden-Verstellung ermöglicht, bei hoher Auslenkungsfrequenz.

### Lösung

Die Aufgabe wird durch die in **Schutzanspruch 1** wiedergegebenen Merkmale gelöst.

### Einige Vorteile

Unrunde und auch nicht zylinderförmige Werkstück-Geometrien erfordern Werkzeugschneiden-Auslenkungen unterschiedlicher Stellwege. Dies bedeutet, daß die Schneide mehr oder weniger weit ausgelenkt werden muß, was durch "Drücken" bzw. "Ziehen" möglich ist.

PIEZO's können eigentlich nur auf Druck beansprucht werden, da der Quarz bzw. die Verbindung mit dem erforderlichen mechanischen Übertragungsselement nur geringe Zugspannungen erlaubt. Zum Beispiel kann bei der Erfindung ein PIEZO eingesetzt werden, der eine maximale Druckkraft von 3.000 N bringt, aber nur etwa 700 N ziehen könnte. Bei der Erfindung wird dieser Nachteil dadurch umgangen, daß mit dem PIEZO nur Druckkräfte auf das U-Gelenk ausgeübt werden und es damit verformen. Da die maximale Verformung weit innerhalb des elastischen Bereiches des Gelenkwerkstoffes, z. B. Stahl, liegt,

federt das Gelenk bei Wegnahme oder Reduzierung der Druckspannung automatisch wieder in seine Ausgangslage zurück. Damit kein undefinierter Verformungszustand eintreten kann, wird mit einer entsprechenden Vorspannung gearbeitet. Mit dieser Vorgehensweise wird sichergestellt, daß das System absolut spielfrei ist.

Das Festkörper-Gelenk in U-Form bildet somit ein federndes Rückstellelement.

Durch die Nutzung des Hebeleffekts wird die (zu) geringe Dehnung des PIEZO's in den zur Bearbeitung erforderlichen Schneidenstellweg übersetzt.

Durch die Anordnung eines externen Meßgliedes am Festkörper-Gelenk im Bereich der offenen U-Schenkel können jegliche Verformungen des Gelenks, also

- der IST-Stellweg des PIEZO's
- die Verlagerung des Werkzeugs durch Fliehkraft
- die Verlagerung des Werkzeugs durch Aufmaßschwankungen
- Temperaturdehnungen des Festkörper-Gelenks

exakt gemessen und im Regelkreis entsprechend korrigiert werden.

Eine nicht zylinderförmige und zugleich unrunde Bohrung (ähnliches gilt auch für die Herstellung von Außengeometrien) kann z. B. mit 2048 unter-

schiedlichen Schneidenauslenkungen (Stützstellen) pro Werkzeugspindel-Umdrehung und mit 100 Stützstellen pro Millimeter im Bohrungsvorschub hergestellt werden.

Des weiteren ist das System frei programmierbar. Die zu bearbeitende Geometrie kann in dem Zylinder-Koordinatensystem beliebig vorgegeben werden.

Zusammengefaßt besitzt eine erfindungsgemäße Werkzeugschneiden-Vorstellereinrichtung folgende vorteilhafte Eigenschaften:

- Genauigkeitsbearbeitung in spanender Formgebung mit drehendem und stehendem Werkzeug
- Herstellung runder Werkstück-Geometrien
- Herstellung unrunder Werkstück-Geometrien beliebiger Funktion
- Herstellung zylinderförmiger Werkstück-Geometrien
- Herstellung nicht zylinderförmiger Werkstück-Geometrien beliebiger Funktion
- Herstellung unrunder und zugleich nicht zylinderförmiger Werkstück-Geometrien



- Absolut spielfreie Werkzeugschneiden-Verstellung
- Werkzeugschneidenauslenkung bzw. -korrektur in Schritten kleiner als 0,00001 mm (1/100 Mikrometer) programmierbar
- Werkzeug für die Bearbeitung von Bohrungen muß nicht abgestützt werden (fliegend)
- Abheben der Werkzeugschneide nach Bearbeitungsende (Rückziehen aus der Bohrung)
- Hohe Auslenquenzfrequenz von z. B. 600 Hz für unrunde bzw. nicht zylinderförmige Werkstück-Geometrien
- Verstelleinrichtung absolut verschleißfrei

#### Automatische Kompensation

- des Werkzeugspindel-Rundlauffehlers
- der Fliehkraft aus Wuchtfehlern und Schneidenauslenkung beim drehenden Werkzeug

- der Gewichtskraft am drehenden Werkzeug (statische Absenkung der einseitig eingespannten Bohrstange = Biegebalken)
- von Aufmaßschwankungen (= IST-Toleranz der zu bearbeitenden Geometrie)
- von unterschiedlichen Werkzeugschneidenbelastungen, z. B. beim unterbrochenen Schnitt
- thermischer Verlagerungen der Werkzeugverstelleinrichtung

Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist die werkzeugunabhängige Systemgenauigkeit.

Während somit ein Durchschnittsfachmann bisher zu der Überzeugung gelangen mußte, daß ein PIEZO als Stellglied einen zur Bearbeitung eines Werkstücks nicht ausreichenden Stellweg aufweist, wird nun durch die besonderen, in der Erfindung vorgeschlagenen Merkmale, zum Beispiel durch das Übersetzungsverhältnis (Hebelarme) und dem erforderlichen Werkzeugschneiden-Verstellweg dies ermöglicht. Bei der Erfindung erfüllt somit ein Festkörpergelenk mit U-förmiger Grundgestalt eine dynamische Funktion, nämlich die Rückstellbewegung des Werkzeuges wird absolut spielfrei ausgeführt.

### Weitere erfinderische Ausgestaltungen

Weitere erfinderische Ausgestaltungen sind in den **Schutzansprüchen 2 bis 15** beschrieben.

Das am Festkörper-Gelenk im Bereich der offenen U-Schenkel angeordnete Meßglied in Form eines Wegaufnehmers kann an dieser Stelle die in den oben aufgelisteten Eigenschaften unter "automatischer Kompensation" aufgeführten Fehler am besten und am sichersten messen. Die Meßsignalübertragung erfolgt über Schleifringläufer.

Die Drehwinkellage der Werkzeugschneide zum Werkstück wird mit einem Winkel-Absolutwertgeber ermittelt. Die genaue Kenntnis der Drehwinkellage ist absolute Voraussetzung zur Herstellung unrunder Werkstückgeometrien, z. B. einer Ellipse.

Der Weg-Absolutwertgeber ist zum Herstellen nicht zylindrischer Werkstückgeometrien, z. B. eines logarithmischen Profils, Voraussetzung. Dieser Geber übermittelt die exakte Position der Werkzeugschneide während des Längsvorschubs am Werkstück.

Der vom Meßglied ermittelte IST-Wert wird im Regler mit dem SOLL-Wert verglichen und das Steuersignal entsprechend angepaßt. Dies ermöglicht auch die automatische Kompensation der weiter oben beschriebenen Fehler.

Der Verstärker ist wegen der für den Betrieb des PIEZO's notwendigen hohen Stellspannung erforderlich.

Der SOLL-Wert der zu bearbeitenden Geometrie wird von einem geeigneten schnellen Rechner, z. B. einem Personalcomputer (PC), vorgegeben. Dabei werden die Signale der Absolutwertgeber in Echtzeit mit den in einem schnell auslesbaren Speicher tabellarisch abgelegten Stützstellen der Winkelposition und des Längsvorschubs der Werkzeugschneide absolut zum Werkstück verglichen und die zu diesen Parametern gehörige Geometriestützstelle als SOLL-Wertvorgabe der Werkzeugschneidenauslenkung ausgelesen. Im Bedarfsfall ist aber auch eine NC-Steuerung anwendbar.

Bei der erfindungsgemäß realisierten Werkzeugspindel-Drehzahl von 6000 1/min kann dieser Prozeß mit einer Frequenz von 600 Hz sicher ablaufen.

In der Zeichnung ist die Erfindung beispielsweise veranschaulicht. Es zeigen:

Fig. 1 eine Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung zum Bohren, teils im Längsschnitt, teils in der Ansicht, abgebrochen dargestellt, mit ausgelenkter Bohrstange;

Fig. 2 eine beispielsweise zu bearbeitende Werkstückgeometrie mit Teilschnitten;

- Fig. 3      Meßschrieb eines von der erfindungsgemäßen Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung bearbeiteten Polygons;
- Fig. 4      einen Regelkreis zum Bohren in schematischer Darstellung;
- Fig. 5      eine Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung zum Drehen, teils in der Ansicht, teils im Schnitt, abgebrochen dargestellt; beim Außendrehen eines Werkstücks;
- Fig. 6      einen Regelkreis zum Drehen in schematischer Darstellung;
- Fig. 7      eine als Waage ausgebildete Ausführungsform des Festkörpergelenks mit unausgelenkter Bohrstange, teils in der Ansicht, teils im Schnitt;
- Fig. 8      eine als Waage ausgebildete Ausführungsform eines Festkörpergelenks mit ausgelenktem Drehwerkzeug, teils in der Ansicht, teils im Schnitt und
- Fig. 9      eine weitere Ausführungsform der Erfindung.

Mit dem Bezugszeichen 1 ist in den Fig. 1, 5, 7 bis 9 ein PIEZO-Translator bezeichnet, dem elektrische Leitungen 2 zugeordnet sind.

Der PIEZO-Translator 1 ist über einen Flansch 3 und mehrere über den Umfang des Flansches verteilt angeordnete Schrauben 4 mit einem Festkörper-Gelenk 5 verbunden, das in einem axial geführten Längsschnitt etwa die Form eines U aufweist.

Das Festkörper-Gelenk 5 besteht z. B. aus härtbarem Stahl, Kohlefaserverbundwerkstoffen, einem geeigneten Kunststoff oder einem Verbundwerkstoff.

Das Festkörper-Gelenk 5 weist Schenkel 6 und 7 auf, die durch einen Steg 8 materialmäßig einstückig miteinander verbunden sind. Der Steg 8 dient als Drehpunkt. Im Bereich der offenen Schenkel ist ein Weg-Meßglied 9, z. B. ein Wegaufnehmer (Fig. 1), befestigt.

Des weiteren weist das Festkörper-Gelenk 5 z. B. einen Flansch 10 auf, der mit über seinem Umfang verteilten Schrauben 11 an einer motorisch angetriebenen Werkzeugspindel 12 befestigt wird.

Mit dem Festkörper-Gelenk 5 ist bei dieser Ausbildung außerdem eine Bohrstange 15 lösbar verbunden. In Ruhestellung ist die Längsachse 16 der Bohrstange 15 coaxial zur Längsachse des Festkörper-Gelenkes 5 und zur Längsachse des PIEZO-Translators 1 angeordnet.

In modifizierter Gestaltung ist das Werkzeug 25 orthogonal zur Längsachse 30 des Festkörper-Gelenks 5 im beweglichen Schenkel 7 lösbar angeordnet (Fig. 5). Diese Vorrichtung wird beim Drehen eingesetzt, bei dem das Werkzeug stillsteht und sich das Werkstück dreht. Demgegenüber wird die z. B. aus Fig. 1 ersichtliche Vorrichtung beim Bohren eingesetzt, bei dem sich das Werkzeug dreht und das Werkstück ruht.

Der PIEZO-Translator 1 greift außerdem mit einem zylindrischen Fortsatz 17 in eine Bohrung 18 des Festkörper-Gelenkes 5 ein und besitzt an seinem Ende einen Druckaufnahmekörper 19, der über ein Kugelstück 20 und eine Druckaufnahme 21 sich gegen den federelastisch verformbaren Schenkel 7 abstützt.

Mit a ist der von der Mitte des Steges 8 bis zu einer Werkzeugschneide 22 gemessene Hebelarm und mit b der von der Mitte des Steges 8 zur Längsmittelenachse 16 (Fig. 1 bzw. 3, Fig. 5, 8, 9) gemessene Hebelarm bezeichnet. Wie man erkennt, ist a um ein Vielfaches größer als b, beispielsweise fünf- bis zwölfmal so groß.

Mit dem Winkel  $\alpha$  ist in Fig. 1 ein möglicher Auslenkwinkel der Längsachse 16 der Bohrstange 15 gegenüber der Ruhestellung bezeichnet.

Die Fig. 2 zeigt ein Werkstück, das mit einer erfindungsgemäßen Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung zu bearbeiten ist. Die Teilschnitte A-A bis D-D

zeigen orthogonal zur Längsachse geführte Querschnitte des aus Fig. 2 ersichtlichen Werkstücks.

Fig. 3 zeigt den Meßschieb einer Unrund-Geometrie, die mit einer erfindungsgemäßen Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung bearbeitet worden ist. Mit 23 ist in Fig. 5 ein Werkzeugträger und mit 24 ein Werkstück bezeichnet.

27 ist ein Halter.

Die Fig. 4 und 6 zeigen Regelkreise für eine erfindungsgemäße Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung.

Die Fig. 7 und 8 zeigen weitere Ausführungsformen der Erfindung, bei der für Teile gleicher Funktion die gleichen Bezugszeichen verwendet wurden. Diese Ausführungsformen unterscheiden sich dadurch, daß an einem Körper 31 mit ihren Längsachsen 30 parallel zueinander angeordnete PIEZO-Translatoren vorgesehen sind, die sich über je einen Druckaufnahmekörper 19 gegen je ein Kugelstück 20 abstützen. Die Kugelstücke 20 und die Druckaufnahmekörper 19 sind jeweils koaxial zur Längsachse des zugehörigen PIEZO-Translators 1 angeordnet. Diese Längsachsen schneiden bei der Ausführungsform nach Fig. 8 orthogonal bei nicht ausgelenktem Schenkel 7 eine in Längsachsrichtung des Schenkels 7 verlaufende Längsachse 16 und bilden die Hebelarme b und c, die vorzugsweise gleich sind, was auch für die Hebelarme b und c der Ausführungsform nach Fig. 7 gilt.



Die PIEZO-Translatoren 1 wirken nach Art einer Waage. Die Zustellbewegung der Werkzeugschneide 22 wird dabei von dem einen PIEZO-Translator 1, z. B. dem unteren, erzeugt, während der andere PIEZO-Translator 1 den Rückstellhub ausführt. Beide PIEZO-Translatoren 1 wirken dabei mit gleichen Druckkräften auf den Schenkel 7.

Das Festkörpergelenk 5 befindet sich zwischen den beiden PIEZO-Translatoren 1 im Übergangsbereich des Körpers 31 zum Schenkel 7.

Auch bei den Ausführungsformen nach Fig. 7 und 8 ist im Bereich der offenen Schenkel ein Meßglied 9, z.B. ein Wegaufnehmer, angeordnet.

Eine weitere Ausführungsform zeigt Fig. 9, bei der ebenfalls für Teile gleicher Funktion die gleichen Bezugszeichen über den vorbeschriebenen Ausführungsformen verwendet wurden. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von den vorbeschriebenen dadurch, daß zwei Körper 32 und 33 dort einen rechten Winkel mit ihren Längsachsen zueinander bilden. In jedem der Körper 32 und 33 ist eine Bohrung angeordnet, die jeweils einen PIEZO-Translator 1 aufnimmt. Die Längsachsen 30 der PIEZO-Translatoren 1 schneiden sich rechtwinklig zueinander oberhalb des Festkörpergelenkpunktes 5 im Schenkel 7 und bilden die Hebelarme b und c, die vorzugsweise gleich sind. Jeder PIEZO-Translator 1 stützt sich über je einen Druckaufnahmekörper 19 auf einen Kugelkörper 20 ab. Die Längsachsen der Kugelkörper 20 schneiden sich

ebenfalls rechtwinklig im Schenkel 7. Auch hier ist das Prinzip der Waage verwirklicht.

Die in den Schutzansprüchen und in der Beschreibung beschriebenen, sowie aus der Zeichnung ersichtlichen Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung wesentlich sein.

24.01.01

---

**Bezugszeichenliste**

---

- 1   PIEZO-Translator
- 2   Leitung
- 3   Flansch
- 4   Schraube
- 5   Festkörper-Gelenk
- 6   Schenkel, U-Schenkel
- 7   "        "        "
- 8   Steg
- 9   Weg-Meßglied, Meßglied
- 10  Flansch
- 11  Schraube
- 12  Werkzeugspindel
- 13  -
- 14  -
- 15  Bohrstange, Werkzeug
- 16  Längsachse, Längsmittenachse
- 17  Fortsatz, zylindrischer
- 18  Bohrung
- 19  Druckaufnahmekörper
- 20  Kugelstück, Kugelkörper

DE 94 22 389 U1

24.01.01

- 2 -

- 21 Druckaufnahme
  - 22 Werkzeugschneide
  - 23 Werkzeugträger
  - 24 Werkstück
  - 25 Werkzeug, Drehwerkzeug
  - 26 -
  - 27 Halter, Grundhalter
  - 28 Drehspindel
  - 29 Längsmittelnachse, Längsachse
  - 30 Längsachse
  - 31 Körper
  - 32 Körper
  - 33 Körper
- 
- a Hebelarm
  - b "
  - c "
- 
- $\alpha$  Auslenkwinkel

DE 94 22 389 U1

24.01.01

6501/44 Bar.

23. Januar 2001

EMAG-Maschinenfabrik GmbH

Austraße 24

D - 73084 Salach

---

**Schutzansprüche**

---

1. Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung zum hochgenauen Bearbeiten von runden, unrunder und/oder nicht zylinderförmigen Innen- und/oder Außenkonturen, wobei entweder das Werkzeug (25) gegenüber dem Werkstück (24) als Hauptbewegung eine Drehbewegung oder das Werkstück (24) gegenüber dem Werkzeug (25) als Hauptbewegung eine Drehbewegung ausführt, mit einer frei programmierbaren Regelung aller zur Bearbeitung des Werkstücks (24) erforderlichen Bewegungsvorgänge der Werkzeugschneide (22) des Werkzeugs (25), wobei ein als federndes Rückstellelement ausgebildetes Festkörper-Gelenk (5) von etwa U-förmiger Grundgestalt mit zwei Schenkeln (6, 7) ausgebildet ist, die durch

DE 94 22 389 U1

24.01.01

2

einen Steg (8) materialmäßig einstückig miteinander verbunden sind, derart, daß der eine Schenkel (6) einen Flansch (10) aufweist, mit dem das Festkörper-Gelenk (5) fest, aber lösbar an einer Werkzeugspindel (12) oder fest, aber lösbar mit einem Werkzeugträger (23) und der andere, federelastisch bewegliche Schenkel (7) mit einer Bohrstange (15) lösbar oder einem Drehwerkzeug (25) verbunden ist, und daß im Bereich des die U-Schenkel verbindenden Stegs (8) ein Weg-Meßglied (9), zum Beispiel ein Wegeaufnehmer oder dergleichen angeordnet ist, wobei mit dem einen, mit der Werkzeugspindel (12) oder dem Werkzeugträger (23) fest verbundenen U-Schenkel (6) des Festkörper-Gelenks (5) ein Piezo-Translator gekuppelt ist, der sich über einen Druckaufnahmekörper (19) biege- bzw. drehmomentfrei gegen den federelastisch verformbaren U-Schenkel (7) abstützt, wodurch nur Druckkräfte auf das U-Gelenk ausübbar sind, die es innerhalb des elastischen Bereiches des Gelenkwerkstoffes verformen, derart, daß bei Wegnahme oder Reduzierung der Druckspannung das Gelenk automatisch wieder in seine Ausgangslage zurückfedert, wobei zwecks Vermeidung undefinierbarer Verformungszustände mit einer entsprechenden Vorspannung gearbeitet wird, so daß das System spielfrei ist, wobei der von der Mitte des die U-Schenkel verbindenden Steges (8) bis zur Werkzeugschneide (22) parallel zur Längsmittelnachse (16) gemessene Hebelarm (a) um ein Vielfaches

DE 94 22 389 U1

größer ist, als der von der Mitte des Steges (8) rechtwinklig bis zur Längsmittennachse (16) des Piezos (1) gemessene Hebelarm (b).

2. Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung zum hochgenauen Bearbeiten von runden, unrunder und/oder nicht zylinderförmigen Innen- und/oder Außenkonturen, wobei entweder das Werkzeug (25) gegenüber dem Werkstück (24) als Hauptbewegung eine Drehbewegung oder das Werkstück (24) gegenüber dem Werkzeug (25) als Hauptbewegung eine Drehbewegung ausführt, mit einer frei programmierbaren Regelung aller zur Bearbeitung des Werkstücks erforderlichen Bewegungsvorgänge der Werkzeugschneide (22) des Werkzeugs (25), wobei ein als federndes Rückstellelement ausgebildetes Festkörper-Gelenk (5) von etwa U-förmiger Grundgestalt mit zwei Schenkeln (6, 7) ausgebildet ist, die durch einen Steg (8) materialmäßig einstückig miteinander verbunden sind, derart, daß der eine Schenkel (6) einen Flansch (10) aufweist, mit dem das Festkörper-Gelenk (5) fest, aber lösbar an einer Werkzeugspindel (12), oder fest, aber lösbar mit einem Werkzeugträger (23) und der andere federelastisch bewegliche Schenkel (7) mit einer Bohrstange (15) lösbar oder einem Drehwerkzeug (25) verbunden ist, und daß dem U-förmigen Festkörper-Gelenk (5) ein Meßglied (9) zugeordnet ist, wobei mit dem einen mit der Werkzeugspindel (12) oder dem Werkzeugträger (23) fest

verbundenen U-Schenkel (6) des Festkörper-Gelenkes (5) ein Piezo-Translator (1) gekuppelt ist, der sich über einen Druckaufnahmekörper (19) biege- bzw. drehmomentfrei gegen den federelastisch verformbaren U-Schenkel (7) abstützt, wodurch nur Druckkräfte auf das U-Gelenk ausübbar sind, die es innerhalb des elastischen Bereiches des Gelenkwerkstoffes verformen, derart, daß bei Wegnahme oder Reduzierung der Druckspannung das Gelenk automatisch wieder in seine Ausgangslage zurückfedert, wobei zwecks Vermeidung undefinierbarer Verformungszustände mit einer entsprechenden Vorspannung gearbeitet wird, so daß das System spielfrei ist, wobei der von der Mitte des die U-Schenkel verbindenden Steges (8) bis zur Werkzeugschneide (22) parallel zur Längsmittennachse (16) gemessene Hebelarm (a) um ein Vielfaches größer ist, als der von der Mitte des Steges (8) rechtwinklig bis zur Längsmittennachse (16) des Piezo-Translators (1) gemessene Hebelarm (b).

3. Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung zum hochgenauen Bearbeiten von runden, unrunder und/oder nicht zylinderförmigen Innen- und/oder Außenkonturen, wobei ein Werkzeug (25) relativ gegenüber einem Werkstück (24) verstellbar ist, mit einer frei programmierbaren Regelung aller zur Bearbeitung des Werkstücks (24) erforderlichen Bewegungsvorgänge der Werkzeugschneide (22) des Werkzeugs (25),



24.01.01

wobei ein Festkörper-Gelenk (5) derart ausgebildet ist, daß ein Schenkel (6, 7) und ein Festkörper einstückig durch einen Steg (8) verbunden sind, wobei durch den Mittelpunkt des Steges (8) eine Schwenkgelenkachse für den beweglichen Schenkel (7) verläuft und die Längsachse (16) des Schenkels (7) orthogonal zu einer durch den Mittelpunkt des Festkörper-Gelenkes (5) und dem damit verbunden Körper (31) verlaufenden Mittellinie (16) angeordnet ist, auf deren beiden Seiten je ein Piezo-Translator (1) angeordnet ist, wobei die Längsachsen der Piezo-Translator (1) parallel oder unter einem Winkel zueinander und orthogonal bzw. unter einem Winkel zur Längsachse des Schenkels (7) verlaufen, wobei die Piezo-Translator (1) über je einen Druckaufnahmekörper (19) auf mit dem Schenkel (7) verbundenen Kugelstücken (20) einer Druckaufnahme nach Art einer Waage einwirken, wobei die Längsmittenachsen der Druckaufnahmekörper (19) und der Kugelstücke (20) ebenfalls parallel bzw. unter einem Winkel zueinander und in nicht ausgelenkter Lage coaxial zu den Längsachsen der Piezo-Translator (1) gerichtet sind, wobei der von der Mitte des Steges (8) bis zu der Werkzeugschneide (22) parallel zur Längsachse des Schenkels (7) geradlinige Hebelarm (a) um ein Mehrfaches, vorzugsweise um ein Vielfaches, größer ist, als der geradlinig und orthogonal von der Mitte des Steges bis zu dem durch das Kugelstück (20) und die Druckaufnahme

DE 94 22 389 U1

verlaufenden Längsmittennachse gebildeten Abstand (b), und wobei im Bereich des Steges ein Weg-Meßglied (9) angeordnet ist.

4. Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, wobei das Festkörper-Gelenk (5) mit einem Grundhalter (27) einstückig oder lösbar verbunden ist, der in einen Werkzeugträger (23) eingreift und mit diesem kraft- und/oder formschlüssig verbunden ist, wobei das Werkzeug (25) orthogonal zur Längsachse des Festkörper-Gelenkes (5) am Schenkel (7) lösbar angeordnet ist.
5. Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß im Bereich der offenen U-Schenkel das Meßglied, zum Beispiel ein Wegaufnehmer (9), befestigt ist.
6. Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Flansch (10) mit mehreren über seinen Umfang verteilten Schrauben (4) an der motorisch angetriebenen Werkzeugspindel (12) befestigt ist.

7. Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das U-förmige Festkörper-Gelenk (5) aus einem härtbaren Stahl, aus Kohlenfaserverbundstoffen, einem geeigneten Kunststoff oder einem Verbundwerkstoff, besteht.
8. Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß durch die Anordnung eines externen Meßgliedes (9) am Festkörper-Gelenk (5) im Bereich der offenen U-Schenkel jegliche Verformung des Gelenks und damit eine automatische Kompensation des Werkzeug-Rundlauffehlers, der Fliehkraft aus Wuchtfehlern und Schneidenauslenkungen bei drehenden Werkzeugen, der Gewichtskraft am drehenden Werkzeug (statische Absenkung der einseitig eingespannten Bohrstange = Biegebalken) von Aufmaßschwankungen (= IST-Toleranz der zu bearbeitenden Geometrie), von unterschiedlichen Werkzeugschneidenbelastungen, z. B. bei unterbrochenem Schnitt, und die thermische Verlagerung der Werkzeugverstelleinrichtung exakt meßbar und im Regelkreis entsprechend korrigierbar sind.

9. Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine nicht-zylinderförmige und zugleich unrunde Bohrung oder Außengeometrien zum Beispiel mit 2048 unterschiedlichen Schneidenauslenkungen (Stützstellen) pro Werkzeugspindelumdrehung und mit 100 Stützstellen pro Millimeter im Bohrungsvorschub, herstellbar sind.
10. Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Werkzeugschneidenauslenkung bzw. -korrektur in Schritten kleiner als 0,00001 mm (1/100 Mikrometer) programmierbar sind.
11. Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Auslegungsfrequenz 600 Hz bei z. B. 6000 1/min. für unrunde bzw. nicht zylinderförmige Werkstück-Geometrien beträgt.
12. Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Sollwert der zu bearbeitenden Geometrien von einem geeigneten schnellen Rechner, zum Beispiel einem Personalcomputer, vorgebar ist.

13. Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß in Ruhestellung die Längsachse (16) einer Bohrstange (15) coaxial zur Längsachse des Piezo-Translators (1) angeordnet ist und orthogonal zu einer durch den als Drehpunkt dienenden Steg (8) verlaufenden Achse verläuft.
14. Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung nach Anspruch 1 oder einem der darauffolgenden Ansprüche, für ein Bohrwerkzeug, wobei
- a) eine Meßsignalübertragung über einen Schleifringläufer erfolgt;
  - b) eine Drehwinkellage der Werkzeugschneide (22) mit einem Winkel-Absolutwertgeber, der auf einer Werkzeugspindel (12) befestigt ist, ermittelt wird;
  - c) ein Weg-Absolutwertgeber die exakte Position der Werkzeugschneide (22) während des Längsvorschubes in der Bohrung weiterleitet;

- d) ein von dem Weg-Meßglied (9) ermittelter Ist-Wert in einem Regler mit einem Sollwert verglichen und ein Steuersignal entsprechend angepaßt wird;
- e) ein Verstärker vorgesehen ist;
- f) der Soll-Wert der zu bearbeitenden Geometrie von einem schnellen Rechner vorgegeben wird und dabei die Signale der Absolutwertgeber in Echtzeit mit den in einem schnell auslesbaren Speicher tabellarisch abgelegten Stützstellen der Winkelposition und der Längsposition der Werkzeugschneide (22) zum Werkstück (24) verglichen und die zu diesen Parametern gehörige Geometrie-Stützstelle als Soll-Wert ausgegeben wird.

15. Werkzeugschneiden-Verstelleinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, für ein Drehwerkzeug, wobei

- a) eine Drehwinkellage des Werkstücks (24) zur Werkzeugschneide (22) mit einem Winkel-Absolutwertgeber, der auf einer Drehspindel (12) befestigt ist, ermittelt wird;

- b) ein Weg-Absolutwertgeber die exakte Position des Werkstücks zur Werkzeugschneide während des Längsvorschubs weiterleitet;
- c) ein von dem Weg-Meßglied (9) ermittelter IST-Wert in einem Regler mit einem Soll-Wert verglichen und ein Steuersignal entsprechend angepaßt wird;
- d) ein Verstärker vorgesehen ist;
- e) der Soll-Wert der zu bearbeitenden Geometrie von einem schnellen Rechner vorgegeben wird und dabei die Signale der Absolutwertgeber in Echtzeit mit den in einem schnell auslesbaren Speicher tabellarisch abgelegten Stützstellen der Winkelposition und der Längsposition der Werkzeugschneide (22) zum Werkstück (24) verglichen und die zu diesen Parametern gehörige Geometrie-Stützstelle als Soll-Wert ausgegeben wird.

24.01.01

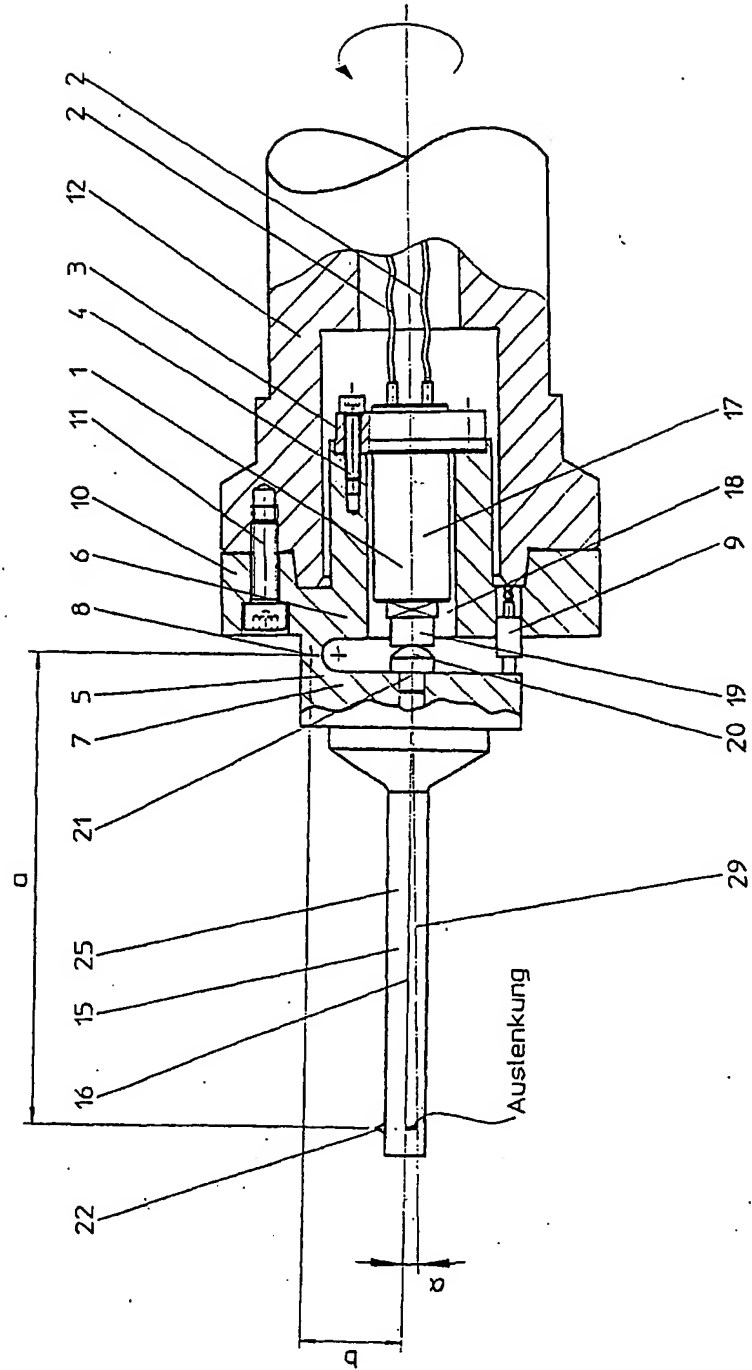


Fig. 1

DE 94 22 389 U1



24.01.01

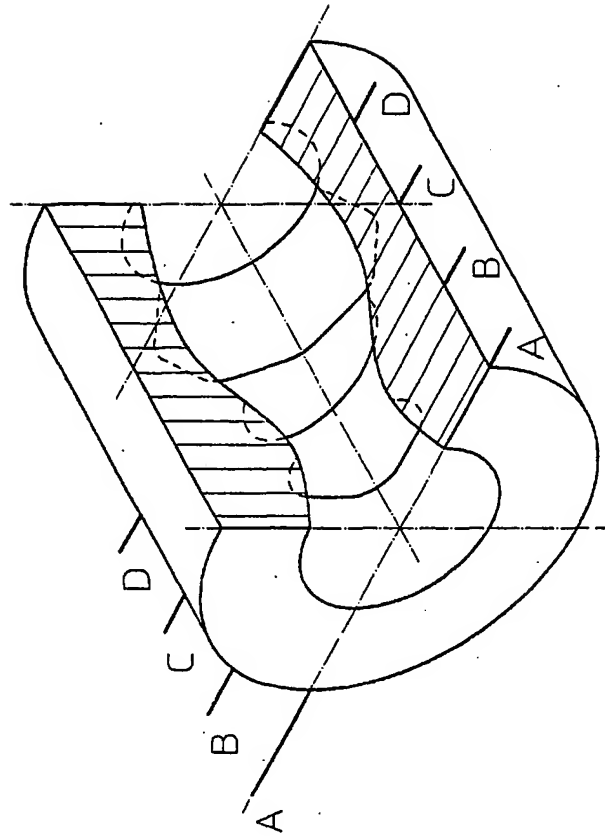
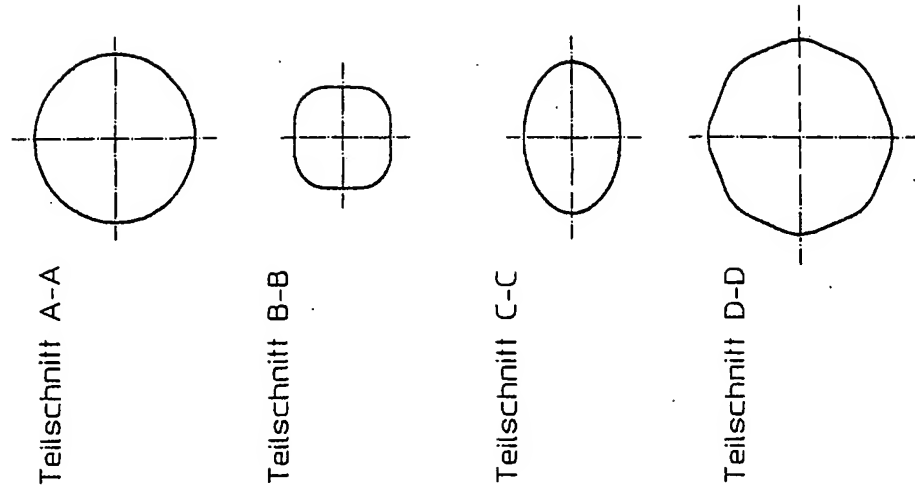
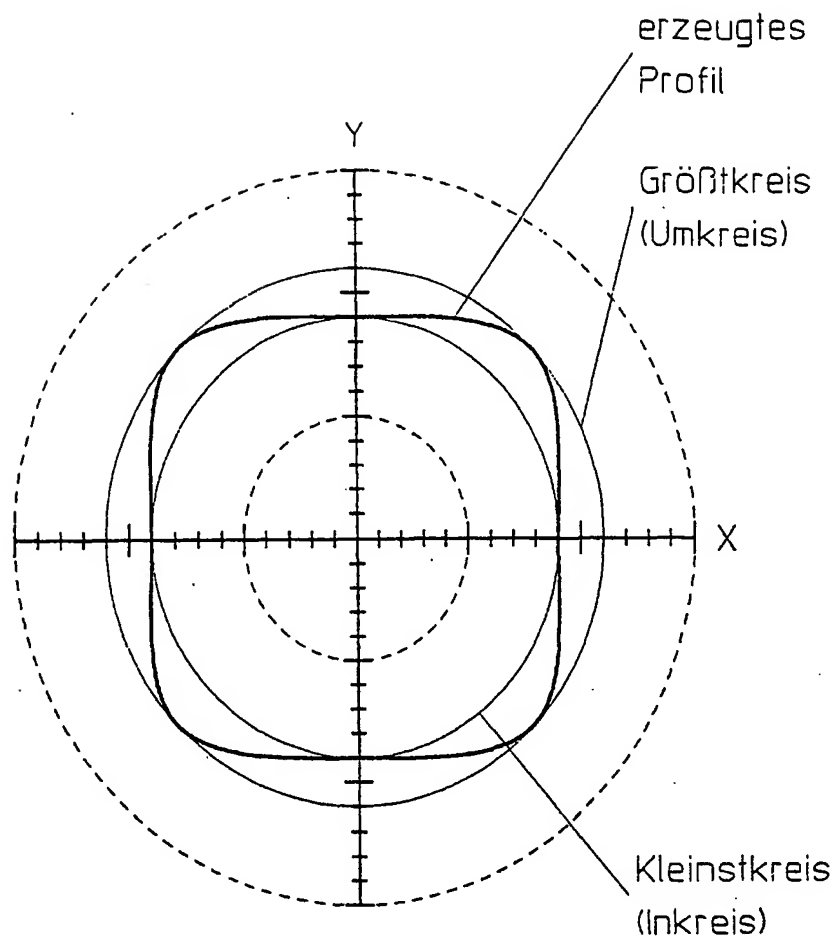


Fig. 2

DE 94 22 389 U1

24.01.01



Auswertung:	MZC
Filter (O/R)	0-15
Skalierung ( $\mu\text{m}$ ):	5
P+V ( $\mu\text{m}$ ):	10.1

Fig. 3

DE 94 22 389 U1

24.01.01

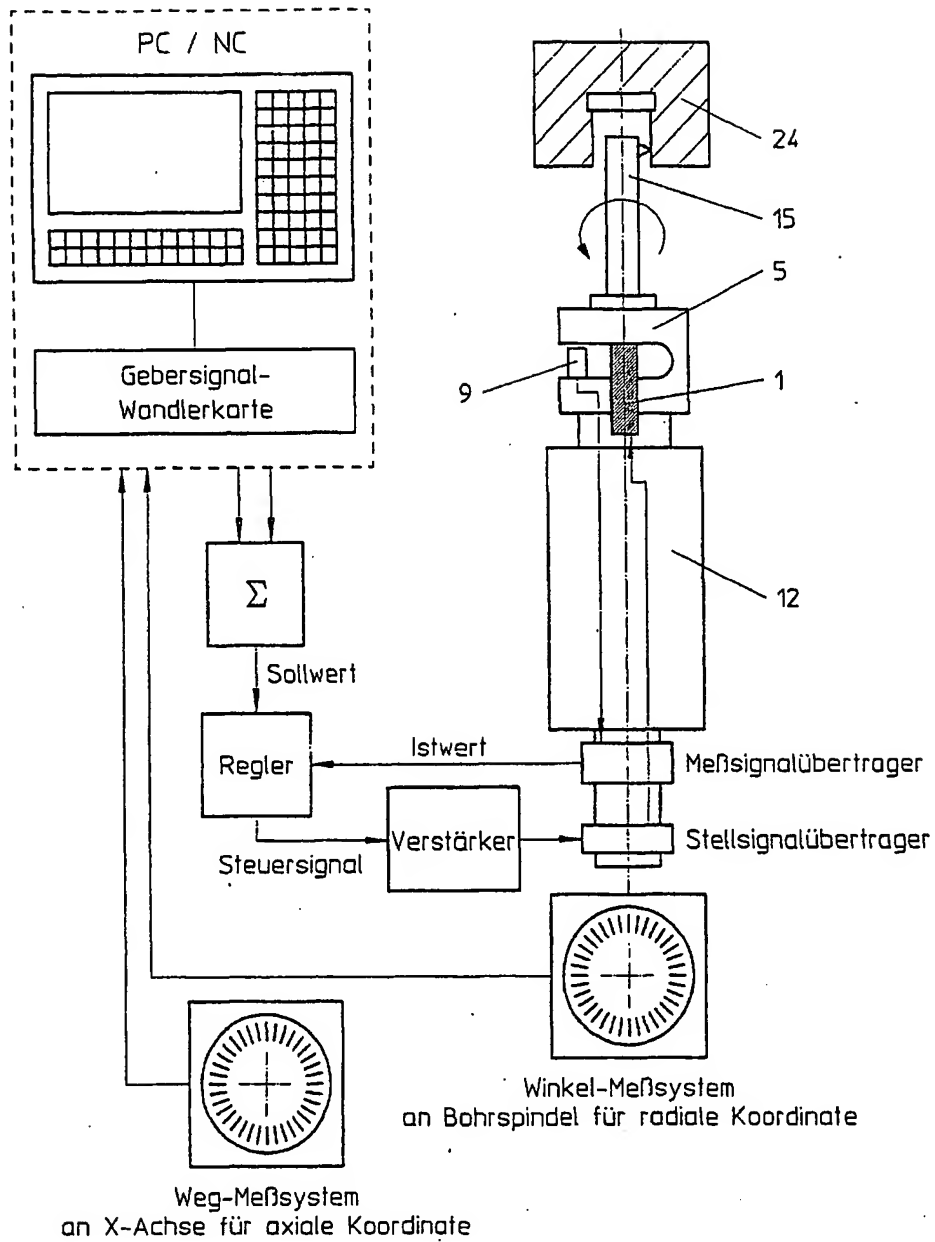


Fig. 4

DE 94 22 389 U1

24.01.01

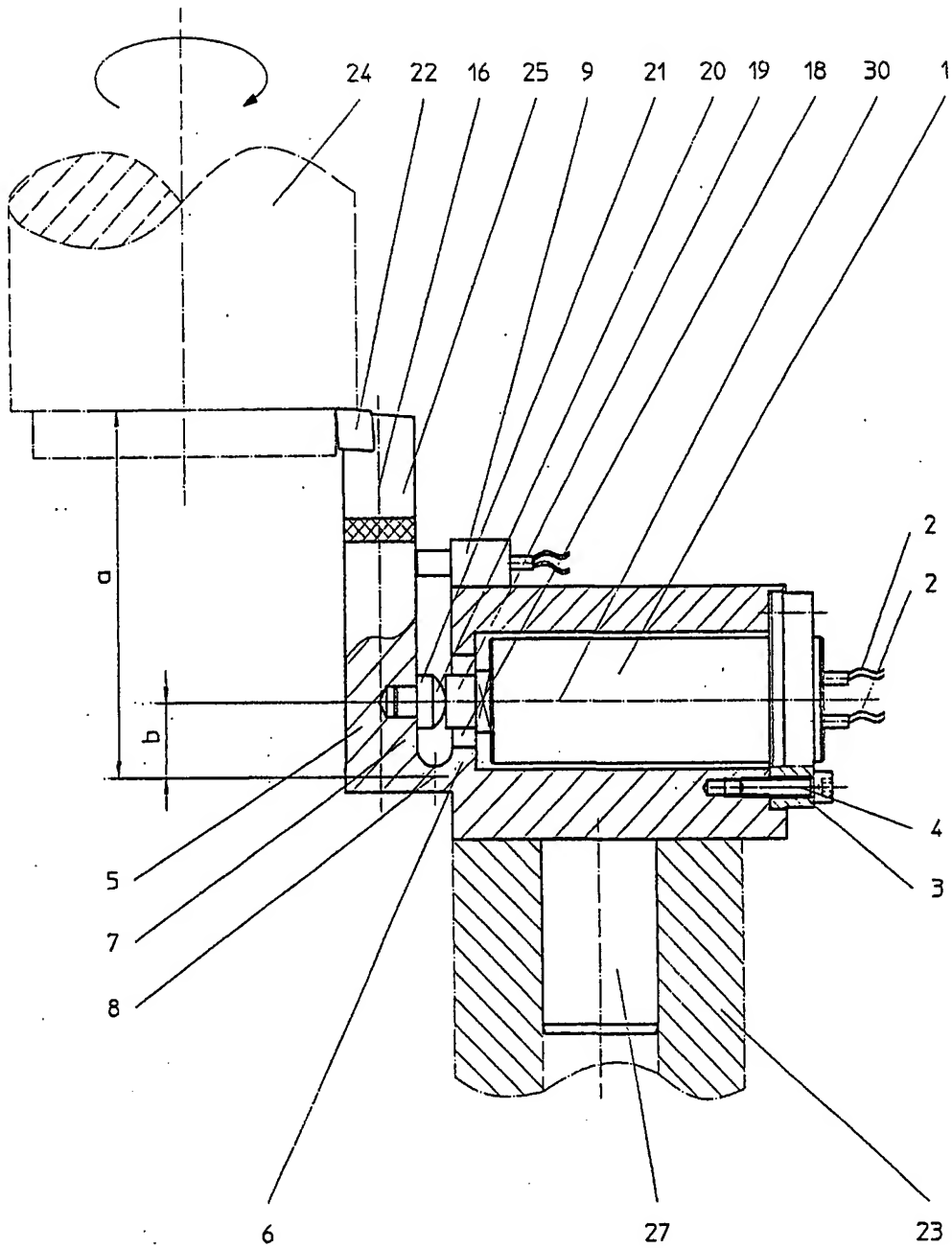


Fig. 5

DE 94 22 389 U1

24.01.01

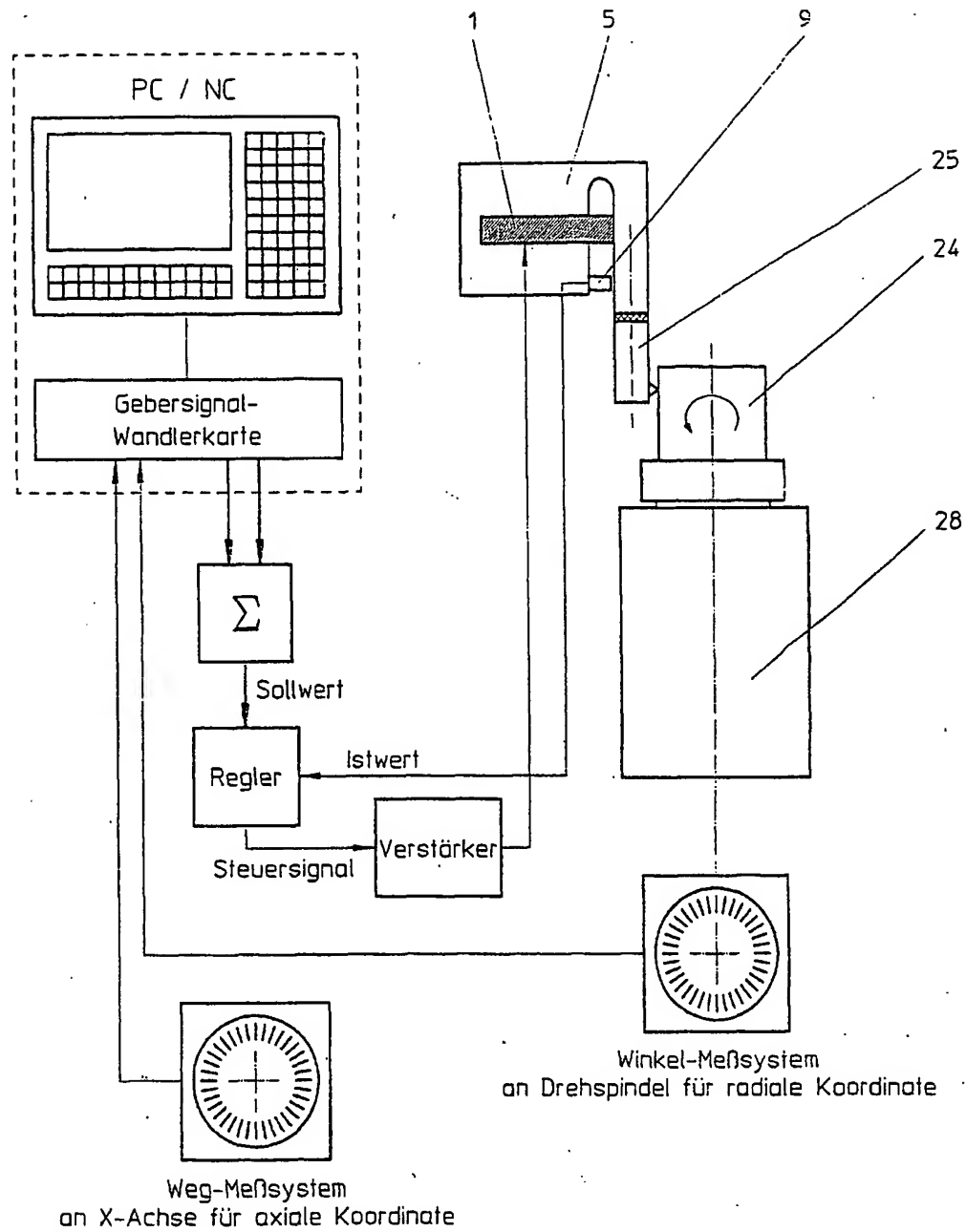


Fig. 6

DE 94 22 389 U1

24.01.01

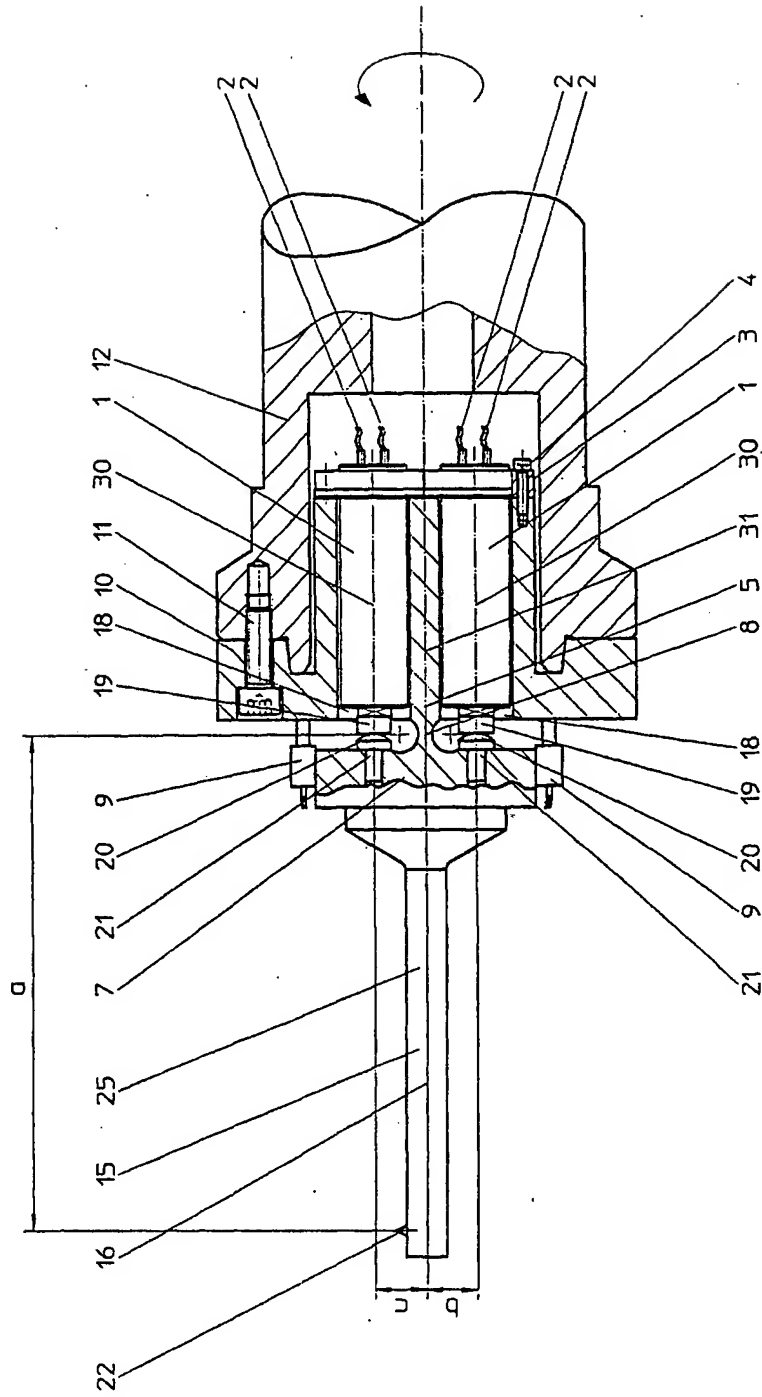


Fig. 7

DE 94 22 389 U1



24.01.01

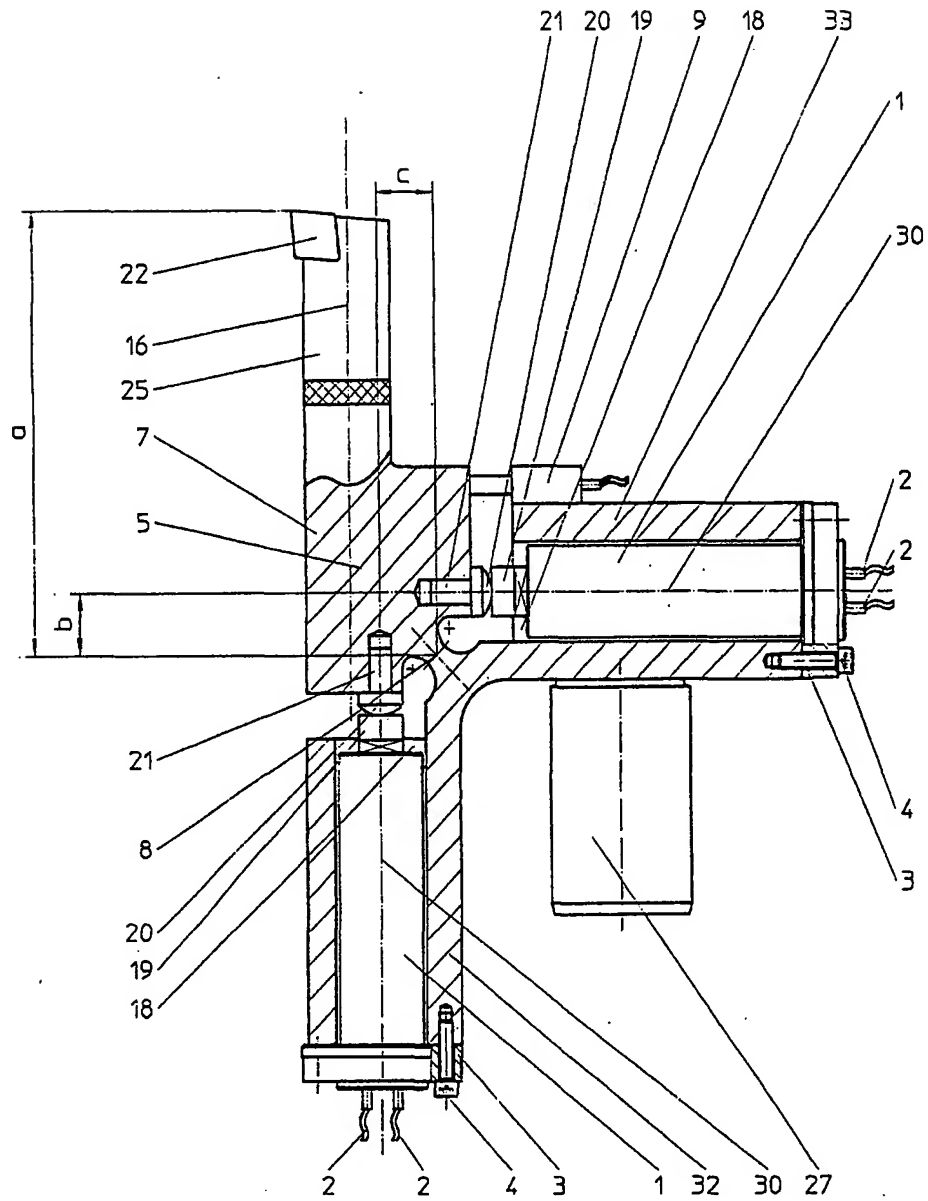


Fig. 9

DE 94 22 389 U1